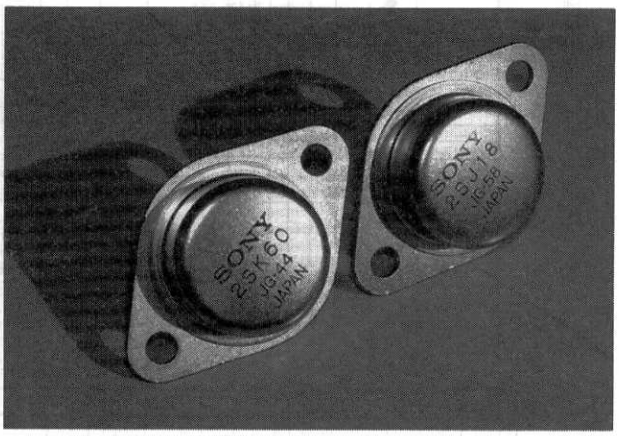
高電圧対応 Op アンプ駆動

V-FET パワー・アンプの製作

●連作＝0 バイアス駆動 SEPP OTL アンプ

池田敏弘



《写真 A》
いまは市場でもめずらしくなった V-FET 素子

0 バイアス駆動 PP 方式 OTL を普及させるために

2009 年 12 月号に発表した第 1 図の 0 バイアス駆動 PP 方式真空管 OTL に始まり，2010 年 3，4 月と続いたこのシリーズでは，真空管 OTL を身近にさせるだけでなく，真空管アンプの再生音を進化させ，音楽再生能力を飛躍的に向上することができたと思っています．

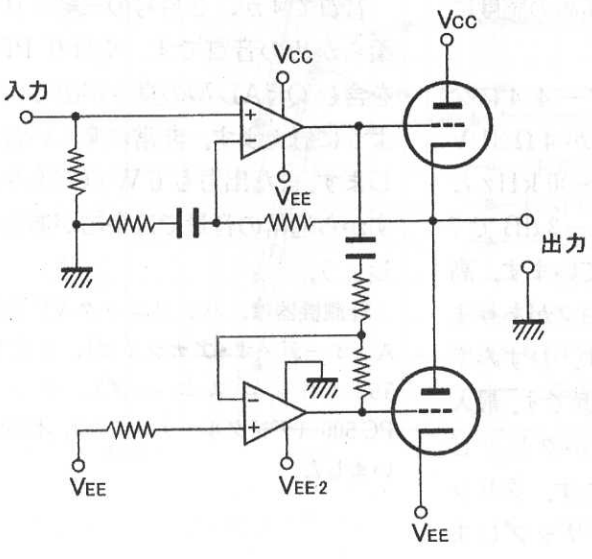
一方，最近の半導体アンプの再生音は，あまり進歩がないのが実状と思われます．D 級アンプの多くは効率化一辺倒で，音楽再生能力に関して無味乾燥という感じがあります．中には，音楽再生以前の高周波ノイズ・エミッションが多いものも見受けられます．

読者のかたからも，「半導体アンプのカテゴリーでも音楽再生を楽しめるものを紹介してほしい」とか，「最近の半導体アンプはオモシロミがない」というご意見をいただいています．

確かに，70 年代ころの半導体アンプの方が，今日より音楽再生のためのさまざまなチャレンジが試みられ，実際，再生音にも進歩があったように思われます．

半導体アンプも，真空管 OTL アンプのように進化させなければ，音楽再生アンプとしての存在意義が危うくなりつつなります．事実，年々縮小するハイファイ指向オーディオ市場がそれを物語っており，この中で真空管アンプが踏ん張っているご時世と思われます．

真空管アンプを進化させた 0 バイアス駆動 PP 方式 OTL での技術やノウハウを活かし，半導体アンプも進化させたいものと考え，今回は，半導体デバイスの中でもオーディオ用素子として開発された V-FET



〈第 1 図〉
2009 年 12 月号に発表した低電圧 0 バイアス駆動 SEPP アンプの基本構成

を出力段に使用したアンプに着目し，進化を図ってみました．

V-FETの特徴

デバイスの外観を**写真A**に示します．一見，TO-3型バイポーラ・トランジスタのように見えますが，バイポーラ・トランジスタとは動作が大きく異なります．

V-FETには，大きく3つの特長があります．

1つ目は，静特性が出力抵抗の極めて低い3極管に似た特性カーブをもつ，音楽再生に適した素子であることです．

2つ目は，なめらかなピンチ・オフ特性であることです．ある程度のアイドル電流を流せば，プッシュプル動作でのつながりがよく，バイポーラTrに見られるようなクロスオーバひずみやノッチングひずみの発生の少ない特性が得られます．

3つ目は，電圧応答素子であることです．

これら特長の詳細は，本誌1999年8月号で記載していますので，ここでは省略させていただきます．

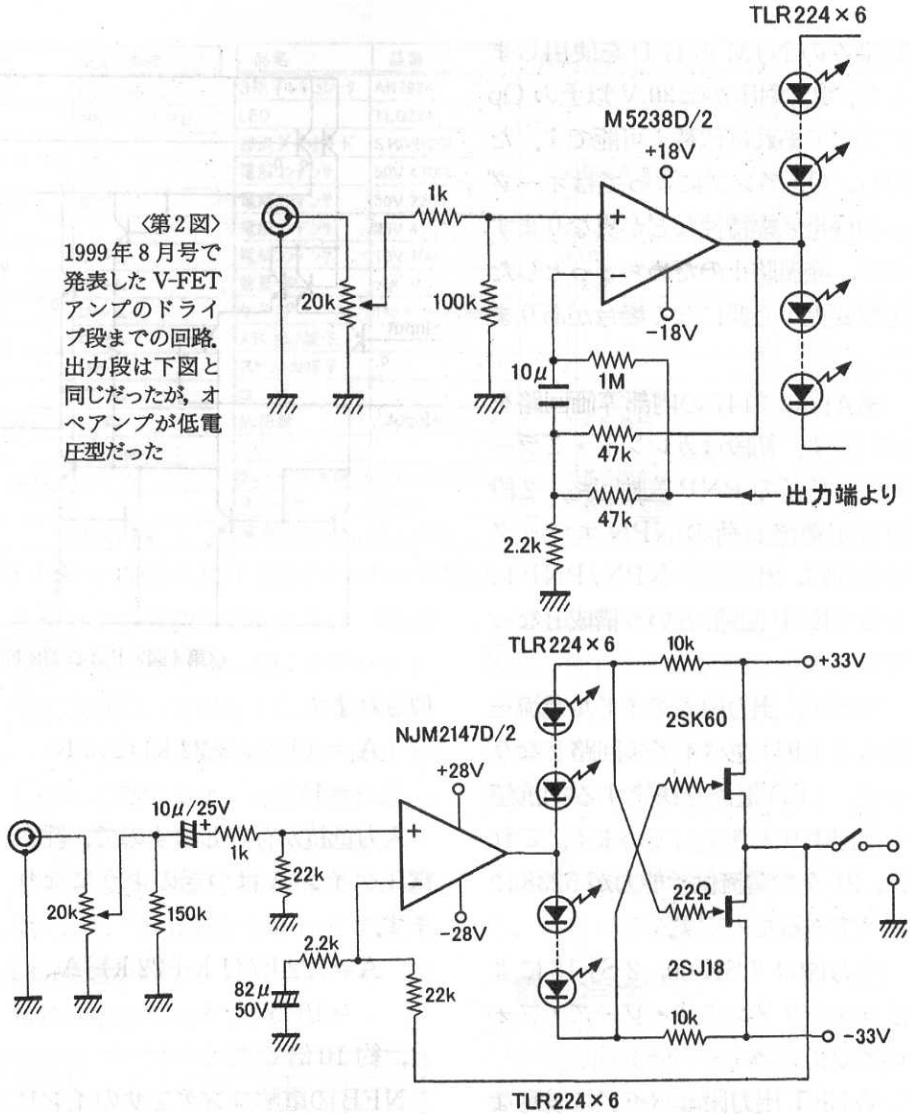
以上の特長より，V-FETは音楽再生増幅素子として非常に優れた出力素子であるといえます．

高電圧でオーバオールNFBをかける

前述の99年8月号で発表したV-FETアンプは，**第2図**のようにOpアンプによる電圧増幅段とLEDの逆バイアスで動作するV-FET出力段とで構成される超シンプルなパワー・アンプでした．

入力～出力まで全段直結にするという考えから，FET入力Opアンプを使用しました．当時は，入手容易なFET入力のタイプは，電源耐圧が最大±18Vという制約から，

〈第2図〉1999年8月号で発表したV-FETアンプのドライブ段までの回路．出力段は下図と同じだったが，オペアンプが低電圧型だった



〈第3図〉Opアンプを高耐圧のNJM 2147 Dに変えて高出力とした本機の回路

出力段よりかなり低い電源電圧仕様となりました．

一方，0バイアス駆動PP方式真空管OTLでは，高耐圧Opアンプを用いて出力段電源電圧の利用率を高めました．この回路は入力カップリング・コンデンサを必要としますが，今日のコンデンサ特性は大幅に改善されています．

また，OSコンといったインピーダンス特性などが優れた部品を使用することで，再生音に与える影響はほとんど感じられなくなりました．今回は，高耐圧Opアンプに変更し，V-FET動作範囲を拡大することにしました．

また，NFBについて，前回はV-FETそのものの特性を表に出そうという思想から，多重帰還を使用し可聴帯域のオーバオールNFBを控えたアンプ仕様としました．

一方，0バイアス駆動PP方式真空管OTLでは，可聴帯域にオーバオールNFBを施しましたが，奏でられる音色は出力段である真空管そのもの特性が適度に現われ，音楽再生によい結果が得られました．

今回は，一般的なACアンプで使用される電解コンデンサと抵抗との組み合わせによるオーバオールNFBとすることにしました．

回路のあらまし

今回のV-FETアンプ回路図を**第3図**に示します．

電圧増幅段のOpアンプには，お

馴染みのNJM 2147 Dを使用しました．電源耐圧が±30 V以上のOpアンプであれば代替え可能です．ただし，Opアンプによってはオープン利得帯域幅特性などが異なりますので，発振防止のためちょっとした定数変更が必要になる場合があります．

第4図に2147の内部等価回路を示します．初段はカレント・ミラー定電流負荷のPNP差動回路，2段目は定電流負荷のNPNエミッタ接地回路，出力段がNPN/PNPによるSEPP回路，という構成となっています．

つぎが，出力段のアイドル電流を決めるLED逆バイアス回路となります．LED電流を決定する抵抗値を前回より大きくしています．これは，2147の電流供給能力が5238に比べて劣るためです．

出力段は2 SK 60，2 SJ 18によるコンプリメンタリ・ソース・フォロアです．

V-FET出力段とバイアス設定などの設計には真空管（3極管）アンプの設計テクニックが要求されます．その設計法は，99年8月号に記載させていただいていますので，そちらをご参照ください．

音声帯域の電圧ゲインは，オーバオールのNFBをかけていますので，帰還抵抗値により決定されます．閉ループ電圧ゲインA_1は次式で近似されます．

$$A_1=(2.2\,k+22\,k)/2.2\,K$$
$$=11$$

入力抵抗が存在しますので，総合電圧ゲインAはつぎのようになります．

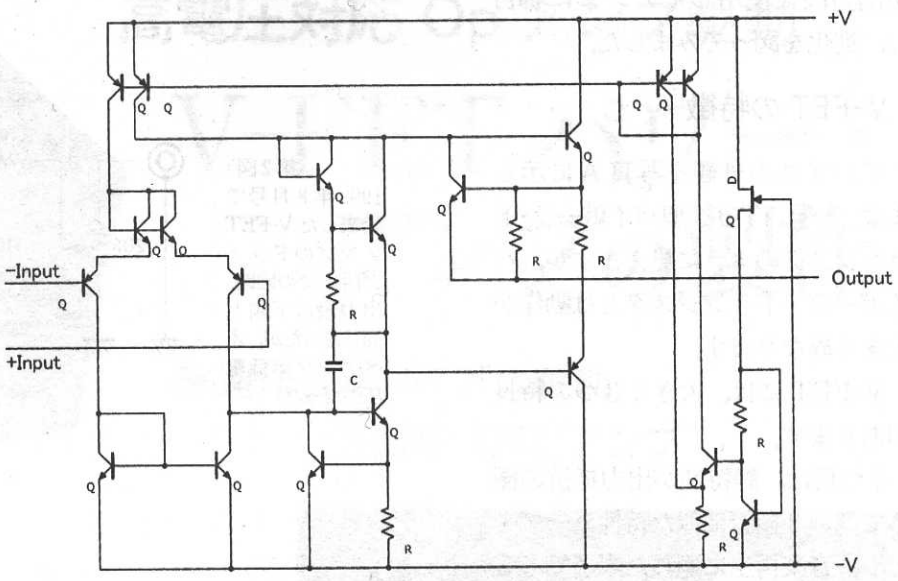
$$A=\{22\,k/(1\,k+22\,k)\}A_1$$
$$\fallingdotseq 10.5$$

と，約10倍です．

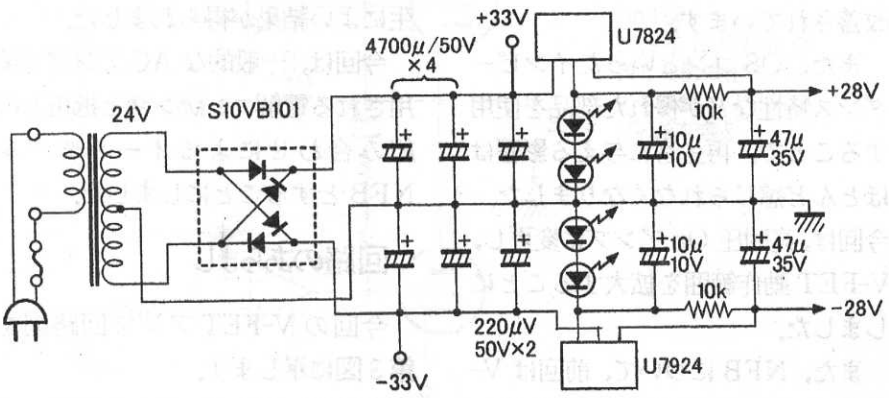
NFBの電解コンデンサのインピーダンスが無限大となりますので，DCゲインはほぼ1倍，入力オフセット電圧がDCオフセット電圧となりますので，動作安定なACアンプとなります．

なお，電源ON/OFF時のショック音防止のため，出力スイッチを設けるとよいでしょう．

つぎに本機の電源回路図を**第5図**に示します．



〈第4図〉ドライブ用NJM 2147 Dの内部等価回路



〈第5図〉本機の電源部回路

電源トランスは，メーカー製アンプのジャンク品で，AC 24 V～0 V～24 V/2 A程度の仕様のトランスです．これを使い，ブリッジ・ダイオードと大容量ケミコンとで単純な全波整流回路を構成させ，約±33 Vを生成しています．

Opアンプ用には，24 V 3端子レギュレータとLEDを2個組み合わせ約28 Vを生成しています．負電圧側も同様な接続仕様で約－28 Vを生成しています．

製作

製作したアンプの部品の一覧表を**第1表**に示します．

電圧増幅段ブロックは，40 mm×115 mmユニバーサル基板に実装しました．

出力段ブロックは，本体厚＝5 mm，フィン厚＝2 mm，表面積＝約510 cm²，熱抵抗＝約2℃/Wのアルミ製放熱器2個を板厚1 mmの鉄板で結合したものに，V-FETを実装しました．

これらを，電源トランス含め，190 mm×130 mm×230 mmのケースに配置しました．

まったく見受けられません．

雑音ひずみ率特性を第7図に示します．一般家庭での実使用出力レベルの0.1W付近で約0.06%となっています．前回のアンプに比べ，ハムなどのノイズ・レベルが低減されています．事実，小出力レベルでも400 Hz・HPFのオン/オフでわずかに変化するレベルです．オーバオールNFBの効果が表われています．

また，1W付近でも0.05%と低ひずみ率で，15W付近でも0.1%と優秀な数値となっています．

最大出力は，両ch 8Ω負荷で，約20 W＋20 W（1%ひずみ）となっています．

真空管OTLと違い，内部抵抗が非常に低いため，低電圧動作ながら，容易に1桁以上の大きな物理的出力が得られます．

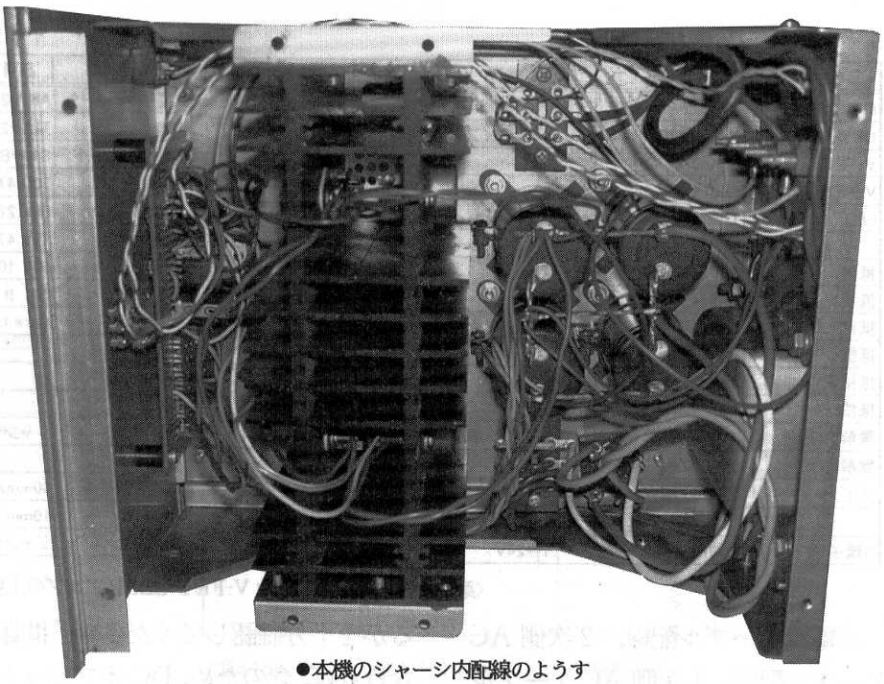
クリアで聴きやすい音

本機の試聴はいつもどおりの組合せで行いました．

クリアながら聴きやすいサウンドを奏でてくれます．通常の半導体アンプの再生音と違い柔らかさがあり，優れています．ただし，これまで発表した0バイアス駆動PP方式真空管OTLと比べると，音の厚みや躍動感について，ほんの少しもの足りない部分も感じました．

最大出力が20 W＋20 Wありますが，聴感パワーは，これまで発表した真空管OTLの方がむしろ優れている感じです．一般家庭での実使用においては，どうも必要以上の物理的最大出力はあまり意味をなさないようで，実使用出力レベルでの特性が重要なようです．

高能率（98 dB：1W・1m）のCD 408-8Aスピーカから再生される音は非常にすばらしいです．CD



●本機のシャーシ内配線のようす

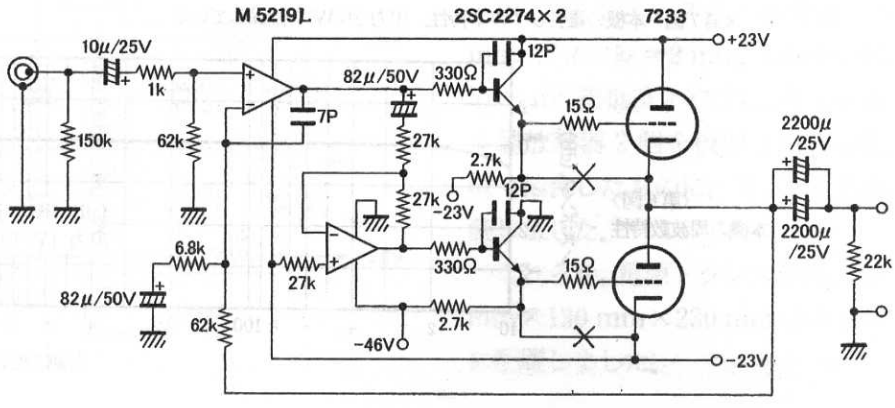
に記録されている音楽信号が正確に再生されている感じがします．しまりあるバスドラ，切れのあるハイハット，躍動感あるスネアといった打楽器，伸びのあるヴァイオリン，響きあるチェロといった弦楽器，タッチ感のあるピアノといった鍵盤楽器，響きのよいフルートいった木管楽器，いずれの楽器においても，明確にバランスよく奏でられています．音声も，生々しく再生されています．

10 cmサイズのスピーカCF 204-8A（95 dB：1W•1m）でも，CD 408に比べると低域や再生音に能力不足を感じますが，10 cmとは思えないほどの再生能力で，どの楽器も音声も明確にバランスよく再生されています．V-FETサウンド，よろしいです．音楽をより心地よくしてくれます．

V-FETは製造中止のデバイスなので，入手困難ところが多少ありますが，音楽再生アンプには，ぜひ使用したいデバイスの1つですね．

●参考文献：ラジオ技術73年12月号「3極管形FETの特長」

●ホームページ
http://www.geocities.jp/seychelle_7/

前号訂正

4月号「7233 PPアンプ」の記事中，p. 48の第2図全回路図で，ドライブ段エミッタと出力管カソードは結線されていません．お詫びかたがた訂正させていただきます．